

Docket No. 220408US2X

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Tetsuya KAWANISHI, et al.

SERIAL NO. NEW APPLICATION

FILING DATE: HEREWITH

FOR: RESONANCE TYPE OPTICAL MODULATOR USING SYMMETRIC OR ASYMMETRIC
ELECTRODE

STATEMENT RE FILING IN FOREIGN LANGUAGE

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS
WASHINGTON, D.C. 20231

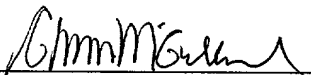
SIR:

It is hereby stated that the subject application is being filed in a foreign language, in accordance with the provisions of 37 CFR 1.52(d).

An accurate English translation, and a suitable amendment placing the application and claims thereof into proper U.S. format if needed, will be filed in due course.

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

C. Irvin McClelland
Registration Number 21,124



22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 10/98)

Title of the Invention:

対称電極あるいは非対称電極を用いた共振型光変調器

(Resonance type optical modulator using symmetric or asymmetric electrode)

BACKGROUND OF THE INVENTION

Field of the Invention:

【0001】

この発明は、光通信分野で位相変調器や強度変調器あるいは偏波変調器として用いられる光変調器の構成に関し、特に、小さい入力電圧でも変調効果の高い対称電極あるいは非対称電極を用いた共振型光変調器の構成に関する。

Description of the Prior Art:

【0002】

光変調器とは、電気信号の情報を、強度、位相、周波数、などの光キャリアの情報に変換して出力するデバイスであり、その変調方法としては、光源であるレーザを直接変調する方法と、光源の外部の変調器を用いて変調する方法がある。上記の直接変調する方法を用いると、装置的に簡単な構成とすることができるが、外部の変調器を用いて変調する方が高品質の変調が行なえることが知られている。このため、超高速通信や長距離通信では、外部の変調器を用いて変調することが一般的に行なわれている。

【0003】

このように外部の変調器を用いて変調する場合には、電気光学効果を利用する変調器や、半導体の電界吸収効果を利用する変調器などが使われている。そのうちの前者の電気光学効果を利用する変調器に、本発明は関しているため、この点について以下にさらに詳しく説明する。

【0004】

光変調器に最も良く使われている電気光学効果を示す物質のひとつとしては、 LiNbO_3 がある。この物質の特性である、1次の電気光学効果であるポッケルス効果による屈折率変化を利用して変調を行なうことができる。その変調の際、 LiNbO_3 基板表面に平行に電界を印加するものと、垂直に電界を印加するものがあることがよく知られている。これらの違いは、 LiNbO_3 基板の結晶方向の違いによるものであり、上記のそれぞれの電界に対応する基板は、それぞれ、Xカット、Zカット、と呼ばれている。

【0005】

前記の LiNbO_3 には、その他の特性として、基板に Ti （チタン）などを熱拡散することによって、容易に屈折率を調整することができることがある。この特性を用いて、光導波路を LiNbO_3 基板内部に形成し、複数の素子を集積化することがよくおこなわれている。

【0006】

このような LiNbO_3 基板を用いた変調器には、進行波型光変調器と、共振型光変調器とがあることが知られている。進行波型光変調器は、光波と電気信号とを同方向に導波させ、導波させているあいだに光を変調する変調器である。この変調器は、直流信号から高周波信号までの広い帯域幅を持っているが、効果的な変調に必要な駆動電流が大きいという特徴がある。一方、共振型光変調器は、変調信号の共振を用いて変調を行なうため、使用しうる帯域は、マイクロ波領域の狭い帯域に限られるが、変調効率が高いという特徴がある。このため、狭い帯域で高効率に動作することが求められる偏波スクランブラやマルチプレクサなどに用いられると効果的である。

【0007】

本発明は、このような共振型光変調器の構成に関するため、次に、これを説明する。これについて既に知られている共振型光変調器（及川、他3名、「10GHz帯共振型 LiNbO_3 光変調器の検討」、2000年電子情報通信学会総合大会予稿集、204頁、講演番号C-3-25）の模式図を図1Aおよび図1Bに示す。図1Aに示す変調器は、Zカット型であり、光導波路とその上に配置された電極（変調電極）とインピーダンス整合用のキャパシタンスからなっている。またその電極は、入力されるマイクロ波に共振するサイズを持っている。また、図1Bに示す変調器は、変調電極とインピーダンス整合用のオープンスタブからなっている。この変調器は、図1Aに示す変調器に比べて、製造が容易である、という特徴がある。

【0008】

上記の様に、従来例の図1Bに示す変調器は、変調電極とインピーダンス整合用のオープンスタブが、同じメタル層を加工して形成されており、このため、製造が容易である、という特徴を持っている。しかし、共通電位配線層は、高周波信号の入力側の他に、光路を越えた側にも設けられており、しかも、これは変調電極を迂回する配置である。このため、共通電極でありながら、共通電位になるように構成するのが困難であるという欠点と、また、光路に印加される変調に有効な電界強度が、共通電位配線層が高周波信号の入力側のみに設けられた場合に比べて、ほぼ半分になる、とい

う欠点とを持っている。

【0009】

この発明の目的は、上記に鑑み提案されたもので、製造が容易でありながら、光路に印加される変調に有効な電界を損なうことの無い構成にして、小さい入力電圧でも変調効果の高い対称電極あるいは非対称電極を用いた共振型光変調器を実現することである。

【0010】

次に上記のような欠点を改善するための手段について説明するが、下記の説明においては、オープンスタブあるいはショートスタブとは、高周波信号の非対称コプレーナ導波路で、それぞれ、信号供給端の他端が開放端であるもの、あるいは、信号供給端の他端が短絡端であるものを意味するものとする。

SUMMARY OF THE INVENTION

【0011】

上記目的を達成するために、本発明の第1の要点は、共振型光変調器に関し、電気光学効果特性を持った光路と、該光路に沿って形成された光路に電界を印加するための変調電極と、該変調電極に対向して形成された共通電極と、該変調電極に電磁的に接続された給電線と、該給電線に接続されたスタブと、共通電極とを含み、上記の変調電極によって分けられた領域の一方の側に、上記の給電線と、スタブと、共通電極とが設けられた構成を持つことを特徴をそなえることである。

【0012】

また、変調器は、外部信号源により同軸ケーブルにより給電されることが多く、インピーダンス整合を取りながら、微小領域に給電する必要があるため、本発明の第2の要点は、第1の要点に加えて、上記の給電線は、テーパ状変成器を含むことを特徴をそなえることである。

【0013】

また、スタブは、単数でも複数でも良いが、複数設ける場合には、左右対称になる配置にすることにより、設計を容易にできることから、本発明の第3の要点は、第1あるいは第2の要点の特徴を備えた共振型光変調器において、上記のスタブは偶数個であり、上記の給電線について対称な位置にそれぞれ設けられていることを特徴をそなえることである。

【0014】

また、第1の要点の特徴を備えた共振型光変調器において、スタブの設けられる位置は、変調電極と配線との交点であることが望ましいため、本発明の第4の要点は、

第1の要点の特徴に加えて、上記の変調電極と給電線とは直角に交わり、スタブは給電線と変調電極とに接する配置を持つことを特徴をそなえることである。

【0015】

また、第1乃至第4のいずれかの要点の特徴を備えた共振型光変調器において、開放端を持った変調電極を用いる事ができることから、本発明の第5の要点は、第1乃至第4のいずれかの要点の特徴に加えて、変調電極と該変調電極に対向して形成された共通電極とは、その両端において開放端を形成していることを特徴をそなえることである。

【0016】

また、第1乃至第4のいずれかの要点の特徴を備えた共振型光変調器において、短絡端を持った変調電極を用いる事ができることから、本発明の第6の要点は、第1乃至第4のいずれかの要点の特徴に加えて、変調電極と該変調電極に対向して形成された共通電極とは、その両端において短絡端を形成していることを特徴をそなえることである。

【0017】

また、用いるスタブは、開放端をもったオープンスタブでも、短絡端をもったショートスタブでも良いことから、本発明の第7の要点は、第1乃至第6のいずれかの要点の特徴に加えて、上記のスタブは、オープンスタブであることを特徴とし、また、本発明の第8の要点は、上記のスタブは、ショートスタブであることを特徴をそなえることである。

【0018】

また、非対称電極を用いた共振型光変調器に関しては、以下のような特徴を有する。まず、本発明の第9の要点は、電気光学効果特性を持った光路と、オープンスタブと、該オープンスタブに接続されたショートスタブと、該オープンスタブと該ショートスタブに電磁的に接続された配線と、共通電極とを含み、上記のオープンスタブとショートスタブとは、単一の光路に沿って形成され、しかも、光路に電界を印加するための変調電極を構成することである。

【0019】

また、本発明の第10の要点は、電気光学効果特性を持った光路と、第1のショートスタブと、第1のショートスタブとは異なる長さを持ち第1のショートスタブに接続された第2のショートスタブと、第1のショートスタブと第2のショートスタブに電磁的に接続された配線と、共通電極とを含み、第1のショートスタブと第2のショートスタブとは、単一の光路に沿って形成され、しかも、光路に電界を印加するため

の変調電極を構成することである。

【0020】

また、本発明の第11の要点は、電気光学効果特性を持った光路と、第1のオープンスタブと、第1のオープンスタブとは異なる長さを持ち第1のオープンスタブに接続された第2のオープンスタブと、第1のオープンスタブと第2のオープンスタブに電磁的に接続された配線と、共通電極とを含み、第1のオープンスタブと第2のオープンスタブとは、単一の光路に沿って形成され、しかも、光路に電界を印加するための変調電極を構成することである。

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

【0021】

図1A

既に知られている共振型光変調器の模式図で、光導波路とその上に配置された電極(変調電極)とインピーダンス整合用のキャパシタンスからなるものの模式図。

【0022】

図1B

既に知られている共振型光変調器の模式図で、変調電極とインピーダンス整合用のオープンスタブからなるものの模式図。

【0023】

図2A

開放端を持った変調電極を用いた共振型光変調器の模式図で、平面図である。

【0024】

図2B

開放端を持った変調電極を用いた共振型光変調器の模式図を示す図で、断面図である。

【0025】

図3

波長1.55ミクロンの光を、中心周波数10GHzの高周波信号で強度変調するための、マッハ・ツェンダ-干渉計型の共振型光変調器の、変調電極上での導波路中を進行する光からみた電界の強度と位相についての計算機シミュレーション結果を示す図である。

【0026】

図4

変調電極長を高周波信号の波長の0.5倍とした場合の、波長1.55ミクロンの光を、中心周波数10GHzの高周波信号で強度変調するための、マッハ・ツェンダ - 干渉計型の共振型光変調器の、変調電極上での導波路中を進行する光からみた電界の強度と位相についての計算機シミュレーション結果を示す図である。

【0027】

図5

スタブを用いない場合の、波長1.55ミクロンの光を、中心周波数10GHzの高周波信号で強度変調するための、マッハ・ツェンダ - 干渉計型の共振型光変調器の、変調電極上での導波路中を進行する光からみた電界の強度と位相についての計算機シミュレーション結果を示す図である。

【0028】

図6A

短絡端を持った変調電極を用いた共振型光変調器の模式図を示す図で、平面図である。

【0029】

図6B

短絡端を持った変調電極を用いた共振型光変調器の模式図を示す図で、断面図である。

【0030】

図7

波長1.55ミクロンの光を、中心周波数10GHzの高周波信号で強度変調するための、高周波信号波長の0.69倍の長さを持った変調電極のマッハ・ツェンダ - 干渉計型の共振型光変調器の、変調電極上での導波路中を進行する光からみた電界の強度と位相についての計算機シミュレーション結果を示す図である。

【0031】

図8

複数の変調器を直列に接続して変調する構成を示すブロック図である。

【0032】

図9

変調電極として用いることのできる非対称ICPW (Interdigital Coplanar Waveguide) を用いた変調器を示す模式図で、平面図である。

【0033】

図9

変調電極として用いることのできる非対称 I C P W (Interdigital Coplanar Waveguide) を用いた変調器を示す模式図で、断面図である。

【0034】

図10A

オープNSTABと、ショートSTABとで構成された変調電極を用いた共振型光変調器の模式図で、平面図である。

【0035】

図10B

オープNSTABと、ショートSTABとで構成された変調電極を用いた共振型光変調器の模式図で、断面図である。

【0036】

図11

光導波路中を進行する光からみた変調電極上での電界の強度(実線)と位相(点線)についての計算機シミュレーション結果を示す図。

【0037】

図12

参照用のシミュレーション結果を示す図。

【0038】

図13

変調電極は、光導波路上のオープNSTAB1と、同じ光導波路上のショートSTAB4とで構成されているが、最適化されていない場合の計算機シミュレーション結果を示す図。

【0039】

図14A

光導波路上のオープNSTAB1と、同じ光導波路上のオープNSTAB2とで構成されている変調電極を用いた共振型光変調器の模式図で、平面図である。

【0040】

図14B

光導波路上のオープNSTAB1と、同じ光導波路上のオープNSTAB2とで構成されている変調電極を用いた共振型光変調器の模式図で、断面図である。

【0041】

図15

光導波路上のオープNSTAB1と、同じ光導波路上のオープNSTAB2とで構成さ

れている光導波路中を進行する光からみた変調電極上での電界の強度（実線）と位相（点線）についての計算機シミュレーション結果を示す図。

【0042】

図16

最適化されない場合の、光導波路上のオープンスタブ1と、同じ光導波路上のオープンスタブ2とで構成されている光導波路中を進行する光からみた変調電極上での電界の強度（実線）と位相（点線）についての計算機シミュレーション結果を示す図。

【0043】

図17A

光導波路上の第1のショートスタブと、それとは異なる長さを持ち、同じ光導波路上の第2のショートスタブとからなる変調電極を用いた共振型光変調器の模式図で、平面図である。

【0044】

図17B

光導波路上の第1のショートスタブと、それとは異なる長さを持ち、同じ光導波路上の第2のショートスタブとからなる変調電極を用いた共振型光変調器の模式図で、断面図である。

【0045】

図18A

変調電極として用いることのできる非対称ICPW（Interdigital Coplanar Waveguide）を用いた変調器を示す模式図で、平面図である。

【0046】

図18B

変調電極として用いることのできる非対称ICPW（Interdigital Coplanar Waveguide）を用いた変調器を示す模式図で、断面図である。

DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

【0047】

以下にこの発明の実施の形態を、まず、対称電極を用いた共振型光変調器で、開放端を持った変調電極の場合を1) 実施例1とし、短絡端を持った変調電極の場合を2) 実施例2とし、また、先の変調器よりも長い変調電極をもつ場合を3) 実施例3として図面に基づいて説明する。

【0048】

次に、非対称電極を用いた共振型光変調器の実施の形態を示す。以下の実施例4に、オープンスタブ（高周波信号の非対称コプレーナ導波路で、信号供給端の他端が開放端であるもの）と、ショートスタブ（高周波信号の対称コプレーナ導波路で、信号供給端の他端が短絡端であるもの）とを含む場合を示し、また、実施例5に、第1のオープンスタブと、それとは異なる長さを持ち、その導波路に接続された、第2オープンスタブとを含む場合を示し、また、実施例6に、第1のショートスタブと、それとは異なる長さを持ち、その導波路に接続された、第2ショートスタブとを含む場合を示して説明する。

【0049】

実施例1

光路に沿って形成された光路に電界を印加するための変調電極と、該変調電極に対向して形成された共通電極は、非対称コプレーナ導波路を形成するが、開放端を持った高周波信号の非対称コプレーナ導波路による変調電極を用いた共振型光変調器の模式図を図2に示す。その平面図を図2Aに、その断面図を図2Bに示す。この共振型光変調器は、波長1.55ミクロンの光を、中心周波数10GHzの高周波信号で強度変調するための、マッハ・ツェンダ-干渉計型光変調器の構成を示している。ここで用いられている基板は、ZカットのLiNbO₃基板であり、その光路はTi（チタン）を熱拡散することによって形成したものである。この基板には、光導波路を伝搬する光の減衰を抑制するために0.55μ厚の酸化シリコン層9が形成され、その上に変調電極や変成器やスタブ、あるいは共通電極を形成する金属層（金、厚さ2μm）が設けられている。

【0050】

変調電極1は、共通電極6および7との距離は27μmであり、幅5μm長さ3250μmで、これは、変調信号である高周波信号の波長の0.19倍であるが、0.18~0.22倍程度（あるいは0.67~0.70倍程度）に設定することができる。この変調電極1の長さは、スタブ電極との合成インピーダンスが適度な領域に留まるようにするため、高周波信号にたいする共振点からすこし、20~25%程度短く、ずれた長さであることが望ましい。

【0051】

また、ショートスタブ4および5は、共通電極6および7との距離は27μmであり、幅50μm長さ875μmで、これは、変調信号である高周波信号の波長の0.12倍である。ショートスタブ4および5は、変調電極1のほぼ中心に接続されてお

り、変調電極1に対して斜め方向に設けられている。その接続部には給電線が接続されている。この接続は、図2Aにおいては連続した導電体により直流電流的に接続されているが、このように直流電流的な接続でなくても、キャパシタンスあるいはインダクタンスによる電磁的な接続であっても、目的を達成することができる。給電線としては、配線あるいはテーパー状変成器を含む。図2では、前記の接続部とそのテーパー状変成器の間に $100\mu\text{m}$ の配線が設けられている。ショートスタブ4および5は、この配線にそって移動させても特段の不都合は発生しない。ここで、配線を設ける本質的な理由はなく、省略することも可能である。また、テーパー状変成器は、入力部分のコプレーナ導波路からの信号を反射して戻すことなくショートスタブに供給するためのものであり、長さ $800\mu\text{m}$ で、幅は $100\mu\text{m}$ から $35\mu\text{m}$ に傾斜する形状となっている。また、その傾斜に合わせて、共通電極との距離も、 $325\mu\text{m}$ から $107.5\mu\text{m}$ に傾斜している。また、ショートスタブは、変調電極の入力インピーダンスの周波数にたいする過剰な低下を抑制するものであり、特に、共振時のインピーダンスの過剰な低下の抑制に効果がある。このショートスタブは、入力する高周波信号の光の位相変化に及ぼす効果（誘導位相量）が最大になるように調整する必要がある。

【0052】

以上の構造の、波長 $1.55\mu\text{m}$ の光を、中心周波数 10GHz の高周波信号で強度変調するための、マッハ・ツェンダ-干渉計型の共振型光変調器の、変調電極上での導波路中を進行する光からみた電界の強度と位相についての計算機シミュレーション結果を図3に示す。この図の電界強度は、入力した高周波信号の振幅で規格化したものであり、電界強度が高くなっているのが分かる。位相については、進行する光からみているため、左から右に増加している。また、最適化しない場合（具体的には、変調電極長を高周波信号の波長の 0.5 倍としたもの）の計算機シミュレーション結果を図4示す。図3と図4とを比べてみれば容易に分かるように、最適化により変調電極上の電位が増大していることが分かる。また、スタブを用いない場合（スタブ以外は図3の結果を得た条件と同じ）の計算機シミュレーション結果を図5示す。図3と図5とを比べてみれば容易に分かるように、スタブを用いることにより変調電極上の電位が増大していることが分かる。

【0053】

図2において、2個のショートスタブを用いているが、1個のショートスタブを用いても同様の効果を得る事ができる。この場合のショートスタブの構造は、前記の2個の場合に比べて、 1.42 倍の長さとするれば、良い。

【0054】

実施例2

次に、第2の実施例として、短絡端を持った高周波信号の非対称コプレーナ導波路による変調電極を用いた共振型光変調器の模式図を図6Aに、その断面図を図6Bに示す。この共振型光変調器も上記と同様に、波長1.55ミクロンの光を、中心周波数10GHzの高周波信号で強度変調するための、マッハ・ツェンダ-干渉計型光変調器の構成を示している。基板や断面構造については、前記の実施例1の場合と同じであるため、以下の説明では省略する。

【0055】

変調電極8は、両端が共通電極に接続された形状をもっており、共通電極6および7との距離は $27\mu\text{m}$ であり、幅 $5\mu\text{m}$ 長さ $7010\mu\text{m}$ で、これは、変調信号である高周波信号の波長の0.41倍であるが、0.41~0.44倍程度（あるいは0.91~0.94倍程度）に設定することができる。この変調電極8の長さも、上記の場合と同様に、スタブ電極との合成インピーダンスが適度な領域に留まるようにするため、高周波信号に対する共振点からすこし、15~20%程度、短波長側にずれた長さであることが望ましい。

【0056】

また、ショートスタブ4および5は、共通電極6および7との距離は $27\mu\text{m}$ であり、幅 $50\mu\text{m}$ 長さ $1165\mu\text{m}$ で、これは、変調信号である高周波信号の波長の0.16倍である。ショートスタブ4および5は、変調電極1のほぼ中心に接続されており、変調電極1に対して斜め方向に設けられている。その接続部からテーパ状変成器までは、 $100\mu\text{m}$ の配線が設けられている。この場合も、配線を設ける本質的な理由はなく、省略することも可能である。このショートスタブは、入力する高周波信号の光の位相変化に及ぼす効果（誘導位相量）が最大になるように調整する必要がある。

【0057】

開放端の変調電極長と、短絡端の変調電極長とを比べた場合、開放端の変調電極の場合、電極上の高周波信号の波長で、ほぼ2分の1波長であるが、短絡端の変調電極の場合は、ほぼ1波長に相当する。したがって、使いたい変調電極長によって、それらを選択することができるようになった。

【0058】

実施例3

図7は、波長1.55ミクロンの光を、中心周波数10GHzの高周波信号で強度

変調するための、高周波信号波長の0.69倍の長さを持った変調電極のマッハ・ツェンダ - 干渉計型の共振型光変調器の、変調電極上での導波路中を進行する光からみた電界の強度と位相についての計算機シミュレーション結果を示す図である。この場合は、横軸が -0.4λ 付近で電界の位相が180度以上になり反転しているのが分かる。位相が180度以上になるこの部分では、入力する高周波信号の光の位相変化に及ぼす効果（誘導位相量）が他の部分の逆になっているのがわかる。

【0059】

この現象により、総和としての誘導位相量が減少することが起こる。この減少を防止するためには、位相が180度を越えた領域では、変調電極と光路とがさらに離間した構成とするか、あるいは、基板の分極方向を反転させておくことが望ましい。離間した構成の場合には、この部分の誘導位相量は増加しないが、この部分のこの反転により、前記の減少が増加に転じる。この分極方向を反転するには、 $20\sim 25\text{ kV/m}$ の直流高電圧を印加すればよく、その方法は、例えば、論文(H. Murata, K. Kinoshita, G. Miyaji, A. Morimoto and K. Kobayashi, "Quasi-velocity-matched LiTaO₃ guided wave optical phase modulator for integrated ultrashort optical pulse generators", ELECTRONIC LETTERS 17th August 2000, vol. 36 No. 17, 1459-1460)に記載されている。以上で、実施例3の説明を終る。

【0060】

上述のいずれの変調器も、図8に示す様に、直列に接続して、変調の効果を強化することができる。この際、変調信号である高周波信号を、光の伝搬に合わせて、遅延器により調整する。

【0061】

上記の説明では、変調電極と共通電極は、直接向かい合う構成となっているが、これらの間に、高周波信号においては孤立したと等価な状態に有る他の導電体が挿入されたICPW (Interdigital Coplanar Waveguide) として知られた構成であっても、本発明の目的を達することができる。このような導体を配置する導波路は、論文(David A. Thompson and Robert L. Rogers, IEEE MIVROWAVE AND GUIDED WAVE LETTERS, VOL., 8, NO. 7, JULY 1998, pp257-259)の図1に記載されている。本発明で用いる構成は、その構成において一方の共通電極を削除した非対称ICPWであり、これを図9に示す。

【0062】

また、上記の実施の形態においては、強度変調器について説明したが、電気光学効果を用いた偏波変調器では、上記の強度変調器と同様の構成をもつため、本発明が適

用できることは明らかである。また、電気光学効果を用いた位相変調器では、変調電極のある光路のみの変調器であるため、本発明が適用できることは明らかである。

【0063】

実施例4

オープンスタブと、ショートスタブとで構成された変調電極を用いた共振型光変調器の模式図を図10に示す。その平面図を図10Aに、その断面図を図10Bに示す。この共振型光変調器は、波長1.55ミクロンの光を、周波数10GHzの高周波信号で強度変調するための、マッハ・ツェンダ-干渉計型光変調器の構成を示している。ここで用いられている基板は、ZカットのLiNbO₃基板であり、その光路は、この基板にTi（チタン）を熱拡散することによって形成したものである。この基板上には、光導波路を伝搬する光の減衰を抑制するために0.55μm厚の酸化シリコン層9が形成され、その上に変調電極や変成器やスタブ、あるいは共通電極を形成する金属層（金、厚さ2μm）が設けられている。

【0064】

変調電極は、光導波路上のオープンスタブ1と、同じ光導波路上のショートスタブ4とで構成されている。オープンスタブ1と共通電極7との距離は27μmであり、オープンスタブ1は、幅5μm長さ1881μm（配線の幅の半分を含む）で、これは、変調信号である高周波信号の導波路上での波長の0.22倍であるが、0.20~0.24倍程度（あるいは0.70~0.74倍程度）に設定することができる。また、ショートスタブ2と共通電極6との距離は27μmであり、ショートスタブ2は、幅5μm長さ256μm（配線の幅の半分を含む）で、これは、変調信号である高周波信号の導波路上での波長の0.03倍である。図10に示した様に、オープンスタブ1とショートスタブ2との接続部分で給電される。この給電のための接続は、図10Aにおいては連続した導電体により直流電流的に接続されているが、このように直流電流的な接続でなくても、キャパシタンスあるいはインダクタンスによる電磁的な接続であっても、目的を達成することができる。その接続部からテーパ状変成器までは、100μmの配線が設けられている。ここで、配線を設ける本質的な理由は接続以外にはなく、省略することも可能である。また、テーパ状変成器は、入力部分のコプレーナ導波路からの信号を反射して戻すことなく、オープンスタブ1とショートスタブ2とに供給するためのものであり、長さ800μmで、幅は100μmから35μmに傾斜する形状となっている。また、その傾斜に合わせて、共通電極との距離も、325μmから107.5μmに傾斜している。

【0065】

この構成の利点は、変調電極がスタブを通じて共通電極に接続されているので、静電気による帯電や低周波信号による干渉の影響を受けづらい点にある。

【0066】

以上の構造を持った、波長1.55ミクロンの光を中心周波数10GHzの高周波信号で強度変調するためのマッハ・ツェンダ-干渉計型の共振型光変調器において、変調電極上での導波路中を進行する光からみた電界の強度（実線）と位相（点線）についての計算機シミュレーション結果を図11に示す。これと比較するため、ショートスタブ2が無い場合の参照用のシミュレーション結果を図12に示す。この図の電界強度は、入力した高周波信号の振幅で規格化したものである。これらの図の比較から、ショートスタブ2の作用により電界強度が高くなっていることが分かる。位相については、進行する光からみているため、左から右に増加している。また、最適化されていない場合（具体的には、導波路1と導波路2とを合わせた変調電極長を、電極上の波長の0.18倍としたもの）の計算機シミュレーション結果を図13示す。図11と図13とを比べてみれば容易に分かるように、最適化により変調電極上の電位が増大していることが分かる。

【0067】

また、上記では、強度変調器について説明したが、電気光学効果を用いた偏波変調器では、上記の強度変調器と同様の構成をもつため、本発明が適用できることは明らかである。また、電気光学効果を用いた位相変調器では、変調電極のある光路のみの変調器であるため、本発明が適用できることは明らかである。

【0068】

また、上記の構成は、Xカット型の変調器でも実現できるが、変調電極と共通電極との距離が異なるため、それに合わせて、スタブのサイズを、入力する高周波信号の光の位相変化に及ぼす効果（誘導位相量）が最大になるように調整する必要がある。

【0069】

実施例5

次に、第5の実施例として、光導波路上の第1のオープンスタブと、それとは異なる長さを持ち、それと同じ光導波路上の第2のオープンスタブとからなる変調電極を用いた共振型光変調器の模式図を図14Aに、その断面図を図14Bに示す。この共振型光変調器も上記と同様に、波長1.55ミクロンの光を、中心周波数10GHzの高周波信号で強度変調するための、マッハ・ツェンダ-干渉計型光変調

器の構成を示している。基板や断面構造については、前記の実施例 1 の場合と同じであるため、以下の説明では省略する。

【0070】

変調電極は、光導波路上のオープンスタブ 1 と、同じ光導波路上のオープンスタブ 2 とで構成されている。オープンスタブ 1 と共通電極 7 との距離は $27\ \mu\text{m}$ であり、幅 $5\ \mu\text{m}$ 長さ $1710\ \mu\text{m}$ (配線の幅の半分を含む) で、これは、変調信号である高周波信号の導波路上での波長の 0.2 倍であるが、0.18~0.22 倍程度 (あるいは 0.68~0.72 倍程度) に設定することができる。また、オープンスタブ 2 と共通電極 6 との距離は $27\ \mu\text{m}$ であり、幅 $5\ \mu\text{m}$ 長さ $2564\ \mu\text{m}$ (配線の幅の半分を含む) で、これは、変調信号である高周波信号の導波路上での波長の 0.3 倍である。図 14 に示した様に、オープンスタブ 1 とオープンスタブ 2 との接続部分で給電される。その接続部からテーパ状変成器までは、 $100\ \mu\text{m}$ の配線が設けられている。ここで、配線を設ける本質的な理由はなく、省略することも可能である。また、テーパ状変成器は、入力部分のコプレーナ導波路からの信号を反射して戻すことなく、オープンスタブ 1 とオープンスタブ 2 とに供給するためのものであり、長さ $800\ \mu\text{m}$ で、幅は $100\ \mu\text{m}$ から $35\ \mu\text{m}$ に傾斜する形状となっている。また、その傾斜に合わせて、共通電極との距離も、 $325\ \mu\text{m}$ から $107.5\ \mu\text{m}$ に傾斜している。

【0071】

この構成の利点は、変調電極に直流バイアスや低周波信号を印加できる点にある。

【0072】

以上の構造を持った、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光を中心周波数 $10\ \text{GHz}$ の高周波信号で強度変調するためのマッハ・ツェンダ - 干渉計型の共振型光変調器において、光導波路中を進行する光からみた変調電極上での電界の強度 (実線) と位相 (点線) についての計算機シミュレーション結果を図 15 に示す。この図の電界強度は、入力した高周波信号の振幅で規格化したものであり、スタブを持たない図 3 の場合に比べて電界強度が高くなっているのが分かる。また、位相については、進行する光からみているため、左から右に増加しているが、オープンスタブ 1 とオープンスタブ 2 との接続部分から $427\ \mu\text{m}$ 、波長の 0.05 倍の距離において、位相が 180 度以上になるため、入力する高周波信号の光の位相変化に及ぼす効果 (誘導位相量) がこの部分においては逆になっているのがわかる。

【0073】

この現象により、総和としての誘導位相量が減少することが起こる。この減少を

防止するためには、位相が180度を越えた領域では、変調電極と光路とがさらに離間した構成とするか、あるいは、基板のこの部分の分極方向を反転させておくことが望ましい。離間した構成の場合には、この部分の誘導位相量は増加しないが、この分極方向の反転により、前記の減少が増加に転じる。分極方向を反転するには、20~25 kV/mmの直流高電圧を印加すればよく、その具体的方法は、例えば、論文（H. Murata, K. Kinoshita, G. Miyaji, A. Morimoto and K. Kobayashi, "Quasi-velocity-matched LiTaO₃ guided wave optical phase modulator for integrated ultrashort optical pulse generators", ELECTRONIC LETTERS 17th August 2000, vol. 36 No. 17, 1459-1460）に記載されている。

【0074】

また、最適化しない場合（具体的には、導波路1と導波路2とを合わせた変調電極長を、電極上の波長の0.6倍としたもの）の計算機シミュレーション結果を図16示す。図15と図16とを比べてみれば容易に分かるように、最適化により変調電極上の電位が増大している。

【0075】

実施例6

次に、第6の実施例として、光導波路上の第1のショートスタブと、それとは異なる長さを持ち、同じ光導波路上の第2のショートスタブとからなる変調電極を用いた共振型光変調器の模式図を図17Aに、その断面図を図17Bに示す。この共振型光変調器も上記と同様に、波長1.55ミクロンの光を、中心周波数10GHzの高周波信号で強度変調するための、マッハ・ツェンダ-干渉計型光変調器の構成を示している。基板や断面構造については、前記の実施例1の場合と同じであるため、以下の説明では省略する。

【0076】

変調電極は、光導波路上のショートスタブ1と、同じ光導波路上のショートスタブ2とで構成されている。ショートスタブ1と共通電極7との距離は27μmであり、幅5μm長さ1710μm（配線の幅の半分を含む）で、これは、変調信号である高周波信号の導波路上での波長の0.45倍であるが、0.43~0.47倍程度（あるいは0.92~0.95倍程度）に設定することができる。また、ショートスタブ2と共通電極6との距離は27μmであり、ショートスタブ2は、幅5μm長さ256μm（配線の幅の半分を含む）で、これは、変調信号である高周波信号の導波路上での波長の0.03倍である。図10に示した様に、ショートスタブ1とショートスタブ2との接続部分で給電される。その接続部からテーパ状変

成器までは、 $100\mu\text{m}$ の配線が設けられている。ここで、配線を設ける本質的な理由はなく、省略することも可能である。また、テーパ状変成器は、入力部分のコプレーナ導波路からの信号を反射して戻すことなく、ショートスタブ1とショートスタブとに供給するためのものであり、長さ $800\mu\text{m}$ で、幅は $100\mu\text{m}$ から $35\mu\text{m}$ に傾斜する形状となっている。また、その傾斜に合わせて、共通電極との距離も、 $325\mu\text{m}$ から $107.5\mu\text{m}$ に傾斜している。

【0077】

この構成の利点は、変調電極がスタブを通じて共通電極に接続されているので、静電気による帯電や低周波信号による干渉の影響を受けづらい点にある。上記の実施例1の場合も同様な利点を有しているが、この実施例3の場合には、変調電極も共通電極に接続されているので、より高い低周波信号による干渉の影響を受けづらい。

【0078】

上記の説明では、変調電極と共通電極は、直接向かい合う構成となっているが、これらの間に、高周波信号においては孤立したと等価な状態に有る他の導電体が挿入されたICPW (Interdigital Coplanar Waveguide) として知られた構成であっても、本発明の目的を達することができる。この本発明で用いる構成は、その構成において一方の共通電極を削除した非対称ICPWであり、これを図18に示す。

【0079】

また、上記の実施の形態においては、強度変調器について説明したが、電気光学効果を用いた偏波変調器では、上記の強度変調器と同様の構成をもつため、本発明が適用できることは明らかである。また、電気光学効果を用いた位相変調器では、変調電極のある光路のみの変調器であるため、本発明が適用できることは明らかである。

【0080】

この発明は上記した構成からなるので、以下に説明するような効果を奏することができる。

【0081】

第1から第9の発明では、製造が容易でありながら、光路に印加される変調に有効な電界が増大されるため、小電力で変調効果の高い共振型光変調器を実現できるようになった。

【0082】

また、特に第3の発明では、左右にバランスのとれた配置となり、予期しない寄生

振動をおこすことが無くなった。

【0083】

また、特に第4の発明では、簡単な構成となり、設計が容易になった。

【0084】

また、特に第5および第6の発明では、最適な変調電極の長さが異なるので、使いたい変調電極の長さに合わせて選択できる様になった。

【0085】

また、特に第7および第8の発明では、直流バイアスや低周波バイアスの有無にあわせて、使いたいスタブの形状を選択できる様になった。

【0086】

また、第9、第10あるいは第11の発明の要点を備えた非対称電極を用いた共振型光変調器であっても、製造が容易でありながら、光路に印加される変調に有効な電界が増大されるため、小電力で変調効果の高いものを実現できるようになった。

What is claimed is:

1. 電気光学効果特性を持った光路と、該光路に沿って形成された光路に電界を印加するための変調電極と、該変調電極に対向して形成された共通電極と、該変調電極に電磁的に接続された給電線と、該給電線に接続されたスタブと、共通電極とを含み、上記の変調電極によって分けられた領域の一方の側に、上記の給電線と、スタブと、共通電極とが設けられた構成を持つことを特徴とする共振型光変調器。

2. 上記の給電線は、テーパ状変成器を含むことを特徴とする第1の請求項に記載の共振型光変調器。

3. 上記のスタブは偶数個であり、上記の給電線について対称な位置にそれぞれ設けられていることを特徴とする第1あるいは第2の請求項に記載の共振型光変調器。

4. 上記の変調電極と給電線とは直角に交わり、スタブは給電線と変調電極とに接する配置を持つことを特徴とする第1の請求項に記載の共振型光変調器。

5. 変調電極と該変調電極に対向して形成された共通電極とは、その両端において開放端を形成していることを特徴とする第1の請求項に記載の共振型光変調器。

6. 変調電極と該変調電極に対向して形成された共通電極とは、その両端において開放端を形成していることを特徴とする第3の請求項に記載の共振型光変調器。

7. 変調電極と該変調電極に対向して形成された共通電極とは、その両端において短絡端を形成していることを特徴とする第1の請求項に記載の共振型光変調器。

8. 変調電極と該変調電極に対向して形成された共通電極とは、その両端において短絡端を形成していることを特徴とする第3の請求項に記載の共振型光変調器。

9. 上記のスタブは、オープンスタブであることを特徴とする第1の請求項に記載の共振型光変調器。

10. 上記のスタブは、オープンスタブであることを特徴とする第3の請求項に記載の共振型光変調器。

11. 上記のスタブは、オープンスタブであることを特徴とする第5の請求項に記載の共振型光変調器。

12. 上記のスタブは、オープンスタブであることを特徴とする第6の請求項に記載の共振型光変調器。

13. 上記のスタブは、オープンスタブであることを特徴とする第7の請求項に記載の共振型光変調器。

14. 上記のスタブは、オープンスタブであることを特徴とする第8の請求項に記載の共振型光変調器。

15. 上記のスタブは、ショートスタブであることを特徴とする第1の請求項に記載の共振型光変調器。

16. 上記のスタブは、ショートスタブであることを特徴とする第3の請求項に記載の共振型光変調器。

17. 上記のスタブは、ショートスタブであることを特徴とする第5の請求項に記載の共振型光変調器。

18. 上記のスタブは、ショートスタブであることを特徴とする第6の請求項に記載の共振型光変調器。

19. 上記のスタブは、ショートスタブであることを特徴とする第7の請求項に記載の共振型光変調器。

20. 上記のスタブは、ショートスタブであることを特徴とする第8の請求項に記載の共振型光変調器。

21. 電気光学効果特性を持った光路と、オープンスタブと、該オープンスタブに接続されたショートスタブと、該オープンスタブと該ショートスタブに電磁的に接続された配線と、共通電極とを含み、上記のオープンスタブとショートスタブとは、単一の光路に沿って形成され、光路に電界を印加するための変調電極を構成することを特徴とする共振型光変調器。

22. 電気光学効果特性を持った光路と、第1のオープンスタブと、第1のオープンスタブとは異なる長さを持ち第1のオープンスタブに接続された第2のオープンスタブと、第1のオープンスタブと第2のオープンスタブに電磁的に接続された配線と、共通電極とを含み、第1のオープンスタブと第2のオープンスタブとは、単一の光路に沿って形成され、光路に電界を印加するための変調電極を構成することを特徴とする共振型光変調器。

23. 電気光学効果特性を持った光路と、第1のショートスタブと、第1のショートスタブとは異なる長さを持ち第1のショートスタブに接続された第2のショートスタブと、第1のショートスタブと第2のショートスタブに電磁的に接続された配線と、共通電極とを含み、第1のショートスタブと第2のショートスタブとは、単一の光路に沿って形成され、光路に電界を印加するための変調電極を構成することを特徴とする共振型光変調器。

ABSTRACT

電気光学効果特性を持った光路と、該光路に沿って形成された光路に電界を印加するための変調電極と、該変調電極に対向して形成された共通電極と、該変調電極に接続された給電線と、該給電線に接続されたスタブと、共通電極とを含み、上記の変調電極によって分けられた領域の一方の側に、上記の給電線と、スタブと、共通電極とが設けられた構成を持つことから成る共振型光変調器である。より具体的な例としては、電気光学効果特性を持った光路と、第1のスタブ（オープンスタブ（開放端の非対称コプレーナ導波路）あるいはショートスタブ（短絡端の非対称コプレーナ導波路））と、第1のスタブに接続された第2のスタブ（オープンスタブあるいはショートスタブ）と、第1のスタブと第2のスタブに接続された配線と、共通電極とを含み、上記の第1のスタブと第2のスタブとは、単一の光路に沿って形成され、しかも、光路に電界を印加するための変調電極を構成する対称電極あるいは非対称電極を用いた共振型光変調器である。

その結果、製造が容易でありながら、光路に印加される変調に有効な電界を損なうことの無い構成を持つようにして、小電力で変調効果の高い共振型光変調器を実現する。